

# Models and algorithms for telecommunication network design

Citation for published version (APA):

van de Leensel, R. L. J. M. (1999). *Models and algorithms for telecommunication network design*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Universiteit Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.19990101rl>

## Document status and date:

Published: 01/01/1999

## DOI:

[10.26481/dis.19990101rl](https://doi.org/10.26481/dis.19990101rl)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Nederlandse Samenvatting

Telecommunicatie netwerken bevinden zich in een dynamische omgeving. Sinds de introductie van de telefonie hebben de markten een continue groei in de vraag naar telecommunicatie diensten geregistreerd. Daarnaast hebben technologische ontwikkelingen een belangrijke bijdrage geleverd aan de omvang en het ontwerp van netwerken. Enerzijds heeft dit geleid tot wereldwijde communicatie faciliteiten en de introductie van nieuwe telecommunicatie diensten. Anderzijds hebben deze innovaties in sterke mate bijgedragen aan de profatibiliteit van de telecommunicatie industrie. Tenslotte heeft de deregelering heeft gezorgd voor concurrerende markten, welke ondernemingen stimuleren om efficiënt te opereren.

Telecommunicatie netwerken worden voortdurend aangepast aan deze veranderende omstandigheden. Gedurende dit proces worden talrijke beslissingen genomen welke van invloed zijn op de karakteristieken van een netwerk, zoals de capaciteit, betrouwbaarheid, beschikbaarheid, en niet in de laatste plaats de kosten. Elk jaar worden er wereldwijd immense bedragen geïnvesteerd in het onderhoud en moderniseren van telecommunicatie netwerken. Dientengevolge ontstaan er ook talloze mogelijkheden tot kostenbesparingen. De problemen die opgelost dienen te worden om zulke kostenreducties te bewerkstelligen zijn vaak complex. Wiskundige technieken uit het wetenschappelijke werkveld van de besliskunde kunnen een helpende hand bieden bij de analyse van dergelijke netwerk ontwerp problemen.

Dit proefschrift beschrijft zowel modellen als methoden voor een aantal specifieke netwerk ontwerp problemen. **Hoofdstuk 1** geeft een inleiding op het algemene ontwerp van telecommunicatie netwerken en introduceert de desbetreffende terminologie. De meest gangbare netwerken hebben een hiërarchisch ontwerp. De onderste lagen van zulk een netwerkstructuur zijn verantwoordelijk voor de aansluiting van telecommunicatie klanten aan het netwerk. De hogere lagen verzorgen de verbinding tussen lokale aansluitnetwerken en de routing van telecommunicatie boodschappen tussen de gebruikers van een dienst. Het inleidende hoofdstuk beschrijft zowel een situatie welke de problematiek in de lokale aansluitnetwerken representeert, als een voorbeeld welke de beslissingsmogelijkheden in routingsnetwerken illustreert. Tevens dient het hoofdstuk als een leidraad voor de rest van het proefschrift, welke is opgesplitst in twee delen.

**Part I** bestaat uit de hoofdstukken 2, 3 en 4, en behandelt lokale aansluitnetwerken. **Hoofdstuk 2** introduceert een netwerk probleem waarbij onder invloed van toenemende vraag naar telecommunicatie diensten de bestaande capaciteit in een lokaal aansluit-

netwerk niet meer toereikend is om in de gewenste service te kunnen voorzien. Voor de noodzakelijke uitbreiding van capaciteit onderscheiden we twee mogelijkheden. Enerzijds zorgt de aanleg van additionele kabels in de bestaande netwerkstructuur voor een grotere capaciteit. Anderzijds kunnen centrales in het lokale aansluitnetwerk geplaatst worden welke telecommunicatie stromen kunnen comprimeren. Aangezien gecomprimeerde telecommunicatie stromen gepaard gaan met een kleinere consumptie van capaciteit leiden dergelijke centrales tot een vermindering van de benodigde capaciteit. Kern van het probleem is om een efficiënte afweging te maken tussen de kosten van kabelexpansie en kosten van installatie van centrales. Hoofdstuk 2 beschrijft een elegante methode voor het vinden van de optimale capaciteitsexpansie van een lokaal aansluitnetwerk. De methode blijkt in staat om probleeminstanties uit de telecommunicatie industrie efficiënt op te lossen. Als zodanig kan de methode een belangrijke rol spelen in het economisch plannen van lokale aansluitnetwerken.

In **hoofdstuk 3** beschouwen we een uitbreiding van de problematiek welke onderdeel is van hoofdstuk 2. Een gedeelte van de telecommunicatie stromen in een lokaal aansluitnetwerk is afkomstig van communicatie tussen klanten in hetzelfde lokale aansluitnet. Communicatie tussen elk tweetal gebruikers van een dienst kan alleen plaatsvinden via tussenkomst van een routeringscentrale. Deze routeringscentrales bevinden zich normaal gesproken in de hogere lagen van de netwerk hiërarchie. Dit betekent dat, ondanks dat gebruikers in eenzelfde lokaal aansluitnetwerk geografisch dicht bij elkaar zitten, de communicatie tussen desbetreffende gebruikers een lange weg in het telecommunicatie netwerk af kan leggen. In hoofdstuk 3 beschouwen we daarom de additionele mogelijkheid om dergelijke routeringscentrales in het lokale aansluitnetwerk te installeren om zodanig deze routing eenvoudiger te maken. De installatie van een routeringscentrale leidt zodoende tot een vermindering van de capaciteitsconsumptie en derhalve is zij concurrerend met andere maatregelen om capaciteitsproblemen in lokale aansluitnetwerken op te lossen. We beschrijven in dit hoofdstuk een methode welke de juiste balans vindt tussen de kosten van kabelexpansie en de kosten van installatie van centrales. Probleeminstanties uit de praktijk, zoals beschikbaar gesteld door KPN Research, Leidschendam, kunnen hiermee efficiënt worden opgelost.

Veel netwerk ontwerp problemen op lokale aansluitnetwerken hebben een gemeenschappelijke deler. Ten eerste is de netwerkstructuur zodanig dat er tussen elk tweetal klanten in eenzelfde aansluitnetwerk precies één uniek pad is. Dit impliceert dat routing van telecommunicatieberichten binnen het lokale aansluitnet in het algemeen geen keuzemogelijkheden met zich mee brengt. Ten tweede geldt dat de centrales welke in een lokaal aansluitnet aanwezig zijn of geïnstalleerd kunnen worden vaak beschikking hebben over een beperkte capaciteit, zodat een keuze moet worden gemaakt welke klanten aangesloten worden op een specifieke centrale. Tenslotte worden meestal beperkende voorwaarden opgelegd aan de toewijzing van klanten aan centrales met het doel een bepaalde logische en overzichtelijke netwerkstructuur te ontwerpen. Inzichtelijkheid is een belangrijke factor voor een efficiënte planning van bijvoorbeeld onderhoud. In **hoofdstuk 4** beschouwen we de mathematische formulering welke de gemeenschappelijke deler van deze problemen in lokale aansluitnetwerken representeert. We bestuderen versterkingen van de formulering, de complexiteit van zulke verbeteringen en het daaruitvolgende effect.

**Part II**, bestaande uit hoofdstukken 5 en 6, beschouwt telecommunicatie netwerk ontwerp problemen in hogere lagen van de hiërarchische structuur. We beschouwen de lokatie van routeringscentrales hierbij als een gegeven, en concentreren ons op de beslissingen omtrent de routing van telecommunicatie stromen en de installatie van capaciteit op de connecties tussen centrales. **Hoofdstuk 5** introduceert een aantal wiskundige modellen en heuristische methoden voor deze *network loading* problemen. Tevens beschrijven we enkele kenmerken van een beslissingsondersteunend computer systeem welke in samenwerking met KPN Research te Leidschendam ontwikkeld is voor de efficiënte analyse van deze netwerk problemen. De besproken software bevat een grafische interface welke het gebruik en de interpretatie van netwerk plannings beduidend eenvoudiger maakt.

Een belangrijk onderdeel van de modellen voor de *network loading* problemen zoals beschreven in hoofdstuk 5 wordt gevormd door capaciteitsrestricties. Deze restricties garanderen dat de hoeveelheid capaciteit welke geïnstalleerd wordt op een connectie in het netwerk groter of gelijk is aan de capaciteitsbehoefte op de desbetreffende connectie. In **hoofdstuk 6** restricteren we ons tot één specifieke connectie in het netwerk en analyseren de mathematische structuur van de bijbehorende capaciteitsrestrictie. Verschillende theoretische resultaten worden vermeld. Ten eerste wijzen we op het nut van versterkingen van individuele capaciteitsrestricties voor globale *network loading* problemen. Vervolgens laten we zien hoe reeds bekende ongelijkheden voor knapsack problemen kunnen worden gebruikt om versterkingen voor het onderhavige model te genereren. Meer specifiek concentreren we ons op twee typen versterkingen welke een grafische interpretatie hebben. Het effect van deze versterkingen op de solvabiliteit van *network loading* problemen is het onderwerp van een rekenstudie.